ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.09325v1

心理科学进展 2019, Vol. 27, No. 6, 1072–1084
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2019.01072

“养育脑”网络及其影响因素*

张火垠 张明明 丁 瑞 李帅霞 罗文波

(辽宁师范大学脑与认知神经科学研究中心, 大连 116029)

摘 要 “养育脑” (parental brain)是成人响应婴儿刺激(面孔、声音等)时, 大脑中与养育行为密切相关的一系列神经回路的总称, 主要涉及动机−奖赏、共情、情绪调节和执行功能等网络, 眶额皮层、前扣带皮层、前脑岛、杏仁核和辅助运动区等核心脑区。而成人养育经验、催产素和精神障碍特征等因素都会影响“养育脑”网络, 具体表现为育儿经验的增长以及催产素水平的提高促进了成人对婴儿刺激的加工, 而精神障碍则损害了其对婴儿刺激的加工。未来研究可考察追踪“养育脑”在不同时期大脑结构的变化以及多脑间的协调同步。另外, 还需进一步探究父亲异常“养育脑”的神经基础, 重视异常父母的预防和干预以及加强本土化研究。

关键词 养育脑; 育儿经验; 催产素; 精神障碍

分类号 B845

日常生活中, 不管是婴儿的哭声还是微笑, 总能够引起我们的注意, 这一常见的现象蕴含着重要的进化意义。对婴儿来说, 成人及时的照顾和反馈促进了婴儿的身心发展(Feldman, 2015)。对成人来说, 敏锐恰当的反应是其养育能力的体现, 有利于提高自我效能感和实现自我价值(Stein et al., 2014)。然而, 养育行为是一种复杂的行为, 不仅要求成人对婴儿情绪的感知以及意图的识别, 还需要适当的身体行为反应。而要提供最优的照顾, 首先要求成人将注意力集中在婴儿刺激中, 并对这些刺激做出适当的反应, 即响应婴儿刺激是养育行为发生的重要基础。随着脑影像技术的进步和脑计划的发展, 越来越多的研究者开始探讨养育行为背后的脑机制(程刚, 张大均, 关雨生, 陈艳红, 2015)。

Swain (2011)首次提出了“养育脑” (parental brain)的假设, 其认为人脑中存在一系列的神经回路对人类的育儿行为和感受十分敏感。它是成人响应婴儿刺激(面孔、声音等)时, 大脑激活的涉及动机和奖赏加工相关的脑区。其中成人既包含父母也包含非父母, 因为非父母也会有异亲养育行为(alloparental caregiving), 即人类既愿意养育自己亲生的后代, 也愿意收养或照料他人的婴儿, 这种行为在人类的进化过程中具有重要作用(Feldman, 2015)。而研究成人对婴儿刺激加工的脑机制是理解亲子关系的第一步, 这有助于理解父母−婴儿依恋关系的本质, 有助于婴儿的健康成长和发展, 还有助于了解父母在养育过程中脑发展机制以及对精神障碍中的产后抑郁症等的诊断、治疗提供帮助和理解(Swain, 2011; 程刚 等, 2015)。

从“养育脑”研究的发展历程来看, 早期研究采用各种婴儿视听刺激来阐明“养育脑”的神经机制, 并从婴儿图式(罗笠铢, 罗禹, 鞠恩霞, 马文娟, 李红, 2011)和婴儿哭声(李想, 郑涌, 孟宪鑫, 李鹏, 李红, 2013)两方面进行了综述。最近, 研究者们开始关注与养育密切相关的神经内分泌指标(例如, 催产素)与“养育脑”之间的关系。此外, 随着社会压力的增大, 产后抑郁等各种身心疾病的比例也开始增长, 异常父母的“养育脑”机制也获得越来越多的关注, 以期寻找相应的生物标记物, 对临床治疗提供帮助(Swain et al., 2014)。然而, 国内这方面的研究还不够成熟, 仍没有研究者进行过系统的论述。因而本文通过系统梳理和综述“养育脑”的神经基础, 并从成人角度出发探讨养育经验的增长、催产素水平的变化以及精神障碍

收稿日期: 2018-05-03
* 国家自然科学基金项目(31871106)。
通信作者: 罗文波, E-mail: luowb@lnnu.edu.cn

ChinaXiv合作期刊

特殊情况对"养育脑"的影响，在此基础上提出展望，从而为未来的研究方向提供理论借鉴。

1　"养育脑"涉及的神经网络

对"养育脑"的研究是从动物模型开始的，主要研究了雌性啮齿类动物的"养育脑"，并发现雌性动物的照料行为是皮层下加工并受激素和嗅觉信号的影响，很少涉及皮层加工(Francis, Champagne, & Meaney, 2000; Rilling & Young, 2014; 张一帆, 齐星亮, 蔡厚德, 2018)。而对人类养育脑的研究发现，其神经基础不仅有皮层下加工也有皮层加工，主要涉及动机−奖赏、共情、情绪调节和执行功能等网络(Feldman, 2015; Swain, 2011)，这些网络主要涉及的脑区包括眶额皮层、前扣带皮层、前脑岛、杏仁核和辅助运动区(Berridge & Kringelbach, 2015)。虽然，"养育脑"和"社会脑"有所重叠，这些脑网络中还未发现养育行为所独有的网络(Kringelbach, Stark, Alexander, Bornstein, & Stein, 2016)。但是，响应婴儿刺激与响应成人一般特征刺激还是有所不同。例如，虽然婴儿面孔和成人面孔都激活了主要的视觉区域——梭状回(fusiform face area)，但是婴儿面孔还激活其他的脑区，如眶额叶皮层 (orbitofrontal cortex)，并且研究发现眶额叶皮层对婴儿刺激尤其重要，它即能快速定位并加工婴儿刺激，也能够协调后期的高级认知加工(Parsons, Stark, Young, Stein, & Kringelbach, 2013)。

Swain (2011)首次提出养育脑的概念，并认为与动机和奖赏等脑区有关；之后 Swain 等人(2014)又进行了补充，提出了执行功能、情绪调节、动机−奖赏、父母的思想(包括镜像网络和心理理论网络)等四大网络；此外，Feldman (2015)认为养育脑涉及动机−奖赏、共情、镜像网络、心理理论、情绪调节等网络。本文整合前人研究，具体将 Swain 等人(2014)中父母的思想(包含镜像网络和心理理论网络)和 Feldman (2015)中共情、镜像、心理理论三个网络整合成为共情网络，并从镜像网络和心理理论网络两方面阐述。总的来说，从皮层下哺乳动物保守网络——动机−奖赏网络；皮层人类进化发展的共情网络(包括镜像网络和心理理论网络)以及情绪调节网络和执行网络四个方面出发，对"养育脑"的神经生理基础做具体介绍。

1.1　动机−奖赏网络

动机−奖赏网络包括伏隔核、尾状核、壳核、丘脑、下丘脑、杏仁核等大脑深部核团以及内侧前额叶等脑区共同组成的神经网络，在哺乳动物和人类当中均可以发现，其功能是加工与奖赏有关的刺激、对奖赏的预期以及参与成人对婴儿刺激的快速定位(Navratilova & Porreca, 2014)。动物和人类的研究均表明对婴儿刺激快速反应取决于多巴胺和催产素(Strathearn, Fonagy, Amico, & Montague, 2009)。多巴胺神经元起源于脑干的腹侧被盖区(ventral tegmental area)和黑质(substantia nigra)，可以投射到腹侧和背侧纹状体以及内侧前额叶皮层，与奖励相关的刺激(如，食物、性、婴儿面孔)均会激活大脑的奖赏系统(Strathearn, Li, Fonagy, & Montague, 2008)。对于父母来说，当其响应自己婴儿线索时，就会激活大脑的动机−奖赏网络，包括腹侧纹状体和催产素相关的下丘脑区域，从而增加婴儿刺激的显著性，并促使自己投入更多的注意力和关注，确保良好的照顾(Caria et al., 2012; Lenzi et al., 2013; Mascaro, Hackett, Gouzoules, Lori, & Rilling, 2014)。

此外，研究发现不安全依恋婴儿的母亲在响应婴儿哭声时，左侧海马和杏仁核有更大的激活(Laurent & Ablow, 2012b)。而同步型母亲(即对养育更敏感的母亲)在左侧伏隔核表现出更强的激活，侵入型母亲在右侧杏仁核表现出更强的激活。不仅如此，仅有同步型母亲在左侧伏隔核与右侧杏仁核之间有功能连接，而侵入型母亲在杏仁核和眶额皮层之间表现出更强的功能连接性。这表明适应良好的养育方式似乎是建立在奖励相关的动机机制和相关激素的基础上的，而焦虑的养育方式很可能是由压力相关的机制所导致的(Atzil, Hendler, & Feldman, 2011)。

1.2　共情网络

在父母照顾牙牙学语的婴儿的过程中，成人能够对婴儿的疼痛和情感产生共鸣十分重要(Kanat, Heinrichs, & Domes, 2014)。而共情反应是一个非常复杂的过程，可以分为情感共情和认知共情两种成分。情感共情(affective empathy)是指个体对他人情绪的识别和判断，包括情绪感染和情感观点采择，其发展依赖于镜像神经元系统(mirror neuron system)，主要有额下回、脑岛、前扣带回等脑区；认知共情(cognitive empathy)则倾向于设

chinaXiv:202303.09325v1

ChinaXiv合作期刊

身处地地理解他人的情感，并区分这种情感是源于自己还是他人，与情感心理理论(theory of mind, ToM)类似，主要有腹内侧前额叶皮层等脑区(杨业 等, 2017)。通过镜像神经元系统，成人能够对婴儿动作进行感知和模仿(Rizzolatti & Craighero, 2004)。此外，心理理论也能够帮助父母了解婴儿前言语刺激并推断婴儿意图(Yang, Rosenblau, Keifer, & Pelphrey, 2015)，这种分享和理解他人的能力对于父母来说非常重要，能够让父母准确地应对自己宝宝的哭泣反应及其他相关刺激(Abraham et al., 2014; Atzil, Hendler, Zagoory-Sharon, Winetraub, & Feldman, 2012; Mascaro, Hackett, Gouzoules, et al., 2014)。母亲在响应婴儿情绪面孔时，激活了共情相关的脑区，包括杏仁核和腹内侧前额叶皮层(Ho, Konrath, Brown, & Swain, 2014)，表明母亲不仅能够对婴儿的情绪信息进行加工而且能够理解婴儿的情绪并产生共鸣。

此外，研究发现对婴儿表现出更多侵犯行为的母亲在左前脑岛和颞极表现出更大的激活，而与婴儿互动更和谐的母亲在左海马区表现出更大的激活，这些区域在调节母亲的情绪和压力以及共情方面有很大的作用(Musser, Kaiser-Laurent, & Ablow, 2012)。并且，前脑岛的激活与父亲的养育行为呈非线性的关系，适度的前脑岛激活才反映最佳的父亲养育水平(Mascaro, Hackett, Gouzoules, et al., 2014)。

1.3 情绪调节网络

对于照顾者来说，能够正确应对婴儿的负面情绪，调节自己的情绪感受也很重要。情绪调节区域主要包括背外侧前额叶皮层、腹外侧前额叶皮层和前扣带回(Ochsner, Silvers, & Buhle, 2012)。母亲在响应婴儿哭声(Laurent & Ablow, 2012a)和悲伤的婴儿视频时(Noriuchi, Kikuchi, & Senoo, 2008)，其内侧额叶皮层、外侧前额叶皮层和前扣带回均得到激活，反映正常母亲能够应对婴儿的负性情绪，进行自我情绪调节。最近也有研究显示，对于正性婴儿刺激的情绪下调同样也是必要的(Aragon, Clark, Dyer, & Bargh, 2015)，但是此过程的脑机制还有待未来研究的探索。此外，研究发现当婴儿表现出更多紊乱行为，其母亲在与社会认知和情绪调节相关的双侧颞叶和胼胝体反应减弱(Laurent & Ablow, 2012b)。同时，产后抑郁的母亲出现情绪调节网络功能连接异常，进而表现出情绪调节功能的异常(Chase, Moses-Kolko, Zevallos, Wisner, & Phillips, 2014; Moses-Kolko et al., 2010)。

1.4 执行网络

同时，执行能力在父母对婴儿敏感性识别中也十分重要，它主要包括注意力控制、抑制控制、工作记忆和任务转换(Lovic & Fleming, 2015)。其中，背外侧和腹内侧前额叶皮层参与认知灵活性(Mitchell, Rhodes, Pine, & Blair, 2008)，纹状体参与抑制控制(Vink et al., 2005)。Moses-Kolko 等人(2010)使用不同效价的情绪面孔作为启动刺激，结果发现产后抑郁的女性看到与婴儿有关的敌意面孔时，左脑杏仁核的激活水平较低，同时背内侧前额叶的活跃度也降低，而背内侧前额叶皮层涉及对情感反应的评估和自动控制，这可能导致产后抑郁的女性在危险时刻不能迅速识别并做出反应或做出不利的决策，从而增加了婴儿的危险性。此外，表现出回避型依恋婴儿的母亲，在参与注意力处理和认知控制的左前额叶、顶叶和小脑区域也表现出更弱的反应(Laurent & Ablow, 2012b)。

1.5 “养育脑”网络的功能连接

对“养育脑”网络的研究，不仅涉及各个脑网络的激活，也包括各个脑网络之间的功能连接。从任务态的功能连接来看，主要表现为以杏仁核为中心，并且与动机−奖赏网络(伏隔核)、共情网络(颞上沟)、情绪调节网络(腹内侧前额叶皮层)等相互连接。Abraham 等人(2014)发现，相对于在异性恋中承担次要照顾的父亲，在异性恋中承担主要照顾的母亲类似于在同性恋中承担主要责任的父亲，在杏仁核和颞上沟之间有更大的连通性。并且，对非父母施加催产素，响应婴儿笑声时，其杏仁核−海马以及楔前叶−眶额皮层的功能连接更强(Riem et al., 2012)。而产后抑郁的母亲其腹内侧前额叶皮层−杏仁核的功能连接异常(Moses-Kolko et al., 2010)，表现出情绪调节功能的异常。不仅如此，仅有同步型母亲在左侧伏隔核与右侧杏仁核之间有功能连接，而侵入型母亲在杏仁核和眶额皮层之间表现出更强的功能连接性(Atzil et al., 2011)。Swain 等人(2017)发现，在响应婴儿痛苦刺激和自己的痛苦刺激时，楔前叶−膝下前扣带回和杏仁核−颞极的功能连接与育儿压力呈正相关。这表明优先回应婴儿的痛苦刺激而不是自己的痛苦刺激，可能会起到一种保护作用，降

chinaXiv:202303.09325v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.09325v1

低母亲养育婴儿的压力。从静息态的功能连接来看，主要研究产后抑郁母亲的情绪调节网络的功能连接失常。具体表现为与健康母亲相比，产后抑郁母亲皮质边缘回路连接性减弱，包括默认网络中的顶叶下回和楔前叶以及默认网络节点和杏仁核的连接性减弱(Deligiannidis et al., 2013)。随后，Chase 等人(2014)也发现与健康母亲相比，产后抑郁母亲的后扣带回和杏仁核连接性减弱，这表明产后抑郁可能会干扰自我相关的思维以及情感共情。今后的研究，可以更多的进行静息态大尺度网络分析，从更宏观的角度来看“养育脑”各个网络之间的关系；也可以使用多体素模式分析，寻找相应的生物标记物，对临床治疗提供帮助。

1.6　小结

综上所述，“养育脑”的神经基础主要涉及动机−奖赏、共情、情绪调节和执行功能等网络(Feldman, 2015; Swain, 2011)。虽然为了方便阐述其神经基础将其分为了四个大的网络，但是其实也可以看到各个网络之间也有重叠的部分，并且互相作用，共同促进养育行为。首先，婴儿输入信号包括：视觉、听觉等刺激。然后，感觉皮层对这些刺激信号进行整合。再后，通过整体评估这些输入刺激，选择性地激活与动机−奖赏、共情、情绪调节、执行功能有关的大脑回路。这是一个循环的过程，皮层和皮层下回路相互作用，密切联系：婴儿刺激激活大脑环路的皮层下回路基底区——负责调节处理特殊养育和关爱行为的脑区，并由此激活了大脑更多的一般性皮层回路(如处理情绪、动机、移情等相关的脑区)。而杏仁核是“养育脑”网络的中心节点，并且它与动机−奖赏网络(伏隔核) (Atzil et al., 2011)、共情网络(颞上沟) (Abraham et al., 2014)、情绪调节网络(腹内侧前额叶皮层) (Moses-Kolko et al., 2010)等相互连接。随后，这些情感认知回路可能与父母的爱与依恋形成过程相互作用，通过皮层运动区和下丘脑，从而产生协调的激素和父母养育行为的输出。而在父母与婴儿互动中产生的新的婴儿输入刺激，这些刺激又会反馈给感觉系统，形成新的循环(Swain et al., 2014; Swain, Lorberbaum, Kose, & Strathearn, 2007)。除此之外，一些个体差异因素，比如养育经验、激素水平、精神障碍等，例如：产后抑郁，也会改变大脑对婴儿刺激的反应，从而改变养育的神经机制。

2　“养育脑”的影响因素

在个体发展过程中，许多因素都会影响到“养育脑”，这方面的研究也是该领域的热点之一。罗笠铢等人(2011)从婴儿刺激出发，总结阐述婴儿图式(baby schema)，即婴儿面孔所特有的高额头、大眼睛和圆脸等知觉特征，并提出成人对婴儿面孔加工存在性别差异，女性比男性更敏感。随后，李想等人(2013)也从婴儿刺激出发，总结阐述婴儿哭声的独特性，以及从生理、行为、感知等方面阐述成人对婴儿哭声的独特性。而成人的个体差异也是影响对婴儿刺激产生不同评价以及养育行为的重要因素。养育经验、激素水平、精神障碍等各方面都能够影响成人对婴儿刺激有不同的感知行为反应，而成人不当的应对方式对婴儿情感发育和人格塑造都是不利的(Parsons, Young, Murray, Stein, & Kringelbach, 2010)。所以，有必要进一步探究有利于婴儿发展的成人照看者特质，以寻找最有利于婴儿发展的照看者特质，为婴儿的健康成长提供更有利的抚育环境(李想等, 2013)。因而本文从成人角度出发，在阐述养育脑的神经基础上探讨了成人育儿经验、激素水平、精神障碍等多种个体差异因素对“养育脑”的影响。

2.1　育儿经验

婴儿的需要是不断发展变化的，父母的技能也是如此。随着成人养育经验的增长，“养育脑”也随之而改变，使之实现更好的养育。因此，育儿经验对“养育脑”的影响可以从两个方面进行研究：从横向研究来看，比较父母与非父母以及男性与女性的脑激活差异；从纵向研究来看，比较不同时期父母灰质体积的变化。

2.1.1　养育经验的横向研究

(1)父母优势效应

父母和非父母对不同通道的婴儿刺激反应不同，加工婴儿声音刺激时，父母比非父母更有优势。虽然父母和非父母被试对婴儿面孔刺激的反应均激活了动机−奖赏网络，显示出了相似性(Caria et al., 2012; Lenzi et al., 2013; Mascaro, Hackett, & Rilling, 2014)，表明婴儿刺激能够唤起成年人承担照顾婴儿的责任，且未出现父母与非父母的差异(Leuner, Glasper, & Gould, 2010)。但是父母比非父母成人拥有更丰富的育儿经验，更容易理解婴儿哭声的意义并能够对婴儿采取更为恰

ChinaXiv合作期刊

当的看护措施(Bornstein, Arterberry, & Mash, 2013; Seifritz et al., 2003)。例如, Seifritz 等人(2003)随机向被试呈现婴儿的哭声、笑声和白噪音, 结果显示父母和非父母的脑区反应不同。具体表现在杏仁核和边缘系统的活动上, 父母对婴儿的哭声反应更强烈; 相反, 非父母成人对婴儿笑声反应更为强烈。这些脑区活动的差异能够从神经机制的角度解释育儿经验对正确把握婴儿哭声意义的促进作用(李想 等, 2013)。

(2)女性优势效应

在传统角色理论当中, 女性承担主要的照顾责任, 因而女性与男性的育儿经验是不同的, 在响应婴儿刺激时, 其养育脑激活也不相同, 出现女性优势效应。除此之外, 也有可能是女性大脑灰质体积不同、女性易感性等原因。一般情况下女性大脑激活比男性多, 但是当婴儿面孔与自己相似时, 男性比女性更为敏感, 并且男性的左前额皮层比女性有更明显的激活(Platek et al., 2004)。首先, 这可能是由于女性比男性与婴儿互动时间更长以及直接照顾经验更丰富。Abraham 等人(2014)发现, 相对于在异性恋中承担次要照顾的父亲, 在异性恋中承担主要照顾的母亲类似于在同性恋中承担主要责任的父亲, 在杏仁核和颞上沟之间有更大的连通性, 并且养育婴儿的时间与杏仁核和颞上沟之间的连通性成正相关, 研究结果强调了养育经验的积累使其大脑功能发现了变化。其次, 这可能是由女性特殊的大脑结构决定的(李想 等, 2013), 即女性相对于男性拥有更大的眶额皮层体积, 而眶额皮层在社会行为、情绪加工和高级认知加工(如, 推理和决策)中发挥着关键作用, 这表明拥有更大的眶额皮层体积的女性在情绪加工方面更具优势(Gur, Gunning-Dixon, Bilker, & Gur, 2002)。最后, 女性的情绪易感性也决定了其对婴儿哭声有更强烈的反应(李想 等, 2013)。例如, 与男性相比, 女性的杏仁核以及前扣带回对婴儿哭声的反应更为强烈(Sander, Frome, & Scheich, 2007), 这有助于女性更好地承担抚育婴儿的职责。此外, Pisapia 等人(2013)发现男性在响应婴儿哭声时, 其大脑中涉及心智游离(mind wandering)的背内侧前额叶和后扣带回仍然保持活跃, 而女性则明显激活减少, 这表明当婴儿需要照顾时, 女性会中断游离, 更多关注婴儿实现更好的养育, 而男性并不会。

大量研究表现出女性对婴儿刺激的反应优势(Abraham et al., 2014; Pisapia et al., 2013; Platek et al., 2004; Sander et al., 2007), 其原因可能是养育经验的丰富、女性灰质更多以及情绪的易感性, 未来研究需要进一步理清女性优势效应的原因, 并探索养育脑协同合作抚养婴儿的独特机制。

2.1.2 养育经验的纵向研究

除了横向比较不同养育经验成人响应婴儿刺激时脑功能的差异, 最近一些研究也从纵向研究的脑结构方面做出了新的尝试, 调查了成人在婴儿出生后随着养育经验的变化其灰质结构的变化(Hoekzema et al., 2017; Kim et al., 2010; Kim et al., 2014)。例如, 产后第一个月至第四个月的纵向研究发现, 母亲在皮层下网络(杏仁核、下丘脑、丘脑和黑质)和皮层网络(前额皮层、中央前回、中央后回和顶下小叶)中发现了灰质体积增加, 且与对婴儿照顾的感知呈正相关; 而父亲在下丘脑、杏仁核、纹状体和外侧前额叶皮层等区域表现出灰质体积的增加(Kim et al., 2010)。并且 Kim 等人(2014)发现父亲表现出在眶额皮层、后扣带皮层和脑岛的灰质体积减少, 并且眶额皮层灰质体积与父亲照顾行为呈负相关。而 Hoekzema 等人(2017)发现女性怀孕后大脑中涉及社会认知的脑区灰质减少并至少保持两年, 而这种变化可以预测母婴依恋关系, 灰质体积减少越明显, 母婴关系越亲密, 这有利于女性进入母亲角色。

总之, 母亲灰质体积的增加可能是受到产后早期的影响, 灰质体积的减少可能是受到妊娠期的影响; 父亲在下丘脑、杏仁核、外侧前额叶皮层灰质体积增加, 眶额皮层、后扣带皮层和脑岛灰质体积减少。而具体灰质体积变化的原因还没有定论, 今后的研究可以追踪激素、环境、生活方式以及养育经验的变化, 进一步分析导致灰质结构变化的原因。

2.2 催产素

研究者从不同喂养类型(Kim et al., 2011)和不同分娩类型(Swain et al., 2008)的母亲对婴儿线索反应差异的研究中发现, 催产素在人类母婴关系中非常重要。催产素(oxytocin)是一种由 9 个氨基酸构成的激素, 能够同时作用于外周神经系统和中枢神经系统(MacDonald & MacDonald, 2010)。大量研究发现激素能够让父母的脑功能和脑结构发生变化, 进而改变其育儿行为(Abraham et al.,

chinaXiv:202303.09325v1

ChinaXiv合作期刊

2014; Kanat et al., 2014; Li, Chen, Mascaro, Haroon, & Rilling, 2017; Michalska et al., 2014)。现有研究主要从以下三种方法对该领域进行了探索：第一种是检测尿液、血液或者脑脊液中的催产素水平，并与脑成像激活建立相关；第二种是从鼻腔喷入催产素，再结合脑成像技术，考察其对养育行为的影响及其神经机制；第三种是通过基因型分析(genotyping)，考察催产素受体的基因多态性，并与具体的脑成像或者行为建立相关。

2.2.1　内源性催产素

在母亲怀孕期间，受雌性激素水平的升高的诱发，母亲体内的催产素水平也会显著提高，并一直维持到哺乳期(Mezzacappa & Katkin, 2002)。而催产素对于母婴亲密关系的形成以及降低母亲的压力都有重要作用，它是这一时期母婴依恋的重要生理润滑剂。

研究发现，母亲外周催产素水平更高，其大脑在奖赏(伏隔核)、警惕(杏仁核)、共情(前脑岛和前扣带皮层)网络中的激活更大(Abraham et al., 2014; Atzil et al., 2012)；同时，父亲的外周催产素水平与心理理论和负性情绪调节网络也存在正相关(Abraham et al., 2014; Atzil et al., 2012; Mascaro, Hackett, Gouzoules, et al., 2014)。这表明催产素水平更高的父母，在响应婴儿刺激时，其"养育脑"激活增加，使得更容易和婴儿的情感产生共鸣，有更强的情感连接。

2.2.2　外源性催产素

对未生育女性给予鼻内催产素，并要求其响应婴儿情绪面孔时，催产素组比安慰剂组杏仁核激活更强，但面孔表情识别的正确率降低(Voorthuis, Riem, Van Ijzendoorn, & Bakermans-Kranenburg, 2014)。这表明，催产素能够加强对婴儿情绪面孔神经水平上加工，但是却会干扰对婴儿刺激的识别。对非父母被试给予催产素，响应婴儿笑声时，其杏仁核和海马的功能连接以及楔前叶(镜像网络)和眶额皮层(情绪调节网络)的功能连接更强(Riem et al., 2012)。并且非父母催产素组相对于安慰剂组在响应婴儿哭声时，能够增加脑岛和下额叶的激活(Riem et al., 2011)，增强了对疼痛和情绪共情的作用(Bethlehem, van Honk, Auyeung, & Baron-Cohen, 2013; Kanat et al., 2014)。此外，对父亲施加鼻内催产素，发现奖赏、共情、注意脑区的激活增加(Li et al., 2017)。这些结果表明，施加催产素可能会增强成人对婴儿的接近动机和共情，实现更好的育儿。

2.2.3　催产素受体基因

除了直接给予激素外，催产素受体表达的遗传变异和母亲对婴儿刺激的神经反应有关。例如，Bakermans-Kranenburg 和 van Ijzendoorn (2008)考察了催产素受体基因型对母性敏感性(maternal sensitivity)的影响，研究发现在控制了母亲教育水平、抑郁程度和婚姻质量后，GG 基因型的母亲对婴儿反应敏感程度高于 AA/AG 基因型的母亲。然而，Michalska 等人(2014)发现 AA 基因型母亲比 GA/GG 型母亲表现出更积极和更高水平的养育行为，以及对自己婴儿面孔有更强的神经反应，并且催产素基因的多态性也和眶额皮层、前扣带回、海马的激活有关，尤其是情绪和应激调节的相关区域。研究结果的不一致，可能是由于遗传学文献中常报道的"等位基因翻转" (allele flip) (Clarke & Cardon, 2010)；也有可能是由于母亲敏感性和积极养育分离，即积极的母亲不一定一直对孩子敏感，敏感的母亲不一定对孩子是积极的养育(Michalska et al., 2014)。此外，Inoue 等人(2010)研究发现正常成年人中的催产素受体 rs2254298A 等位基因与较大的双侧杏仁核灰质体积相关，即个体拥有的 rs2254298A 等位基因越多，他们的杏仁核体积就越大。而杏仁核与社会互动以及情绪加工有关，拥有更大杏仁核的个体可能拥有更敏感的养育行为。

综上所述，内源性与外源性的催产素差异以及催产素受体基因个体差异均能够影响父母对婴儿的神经反应，从而改变对婴儿的行为敏感性。除此之外，加压素(Atzil et al., 2012)、睾酮(Kuo, Carp, Light, & Grewen, 2012; Mascaro, Hackett, & Rilling, 2013, 2014)等激素也对"养育脑"有影响。

2.3　精神障碍

随着社会和生活压力的增加，各种身心疾病的比例也开始增加，精神疾病比例上升尤为明显，使得社会也越来越重视心理学领域的发展。过去大量行为学研究已经表明精神障碍可能会影响父母照顾婴儿的能力，其中大部分研究是针对女性，而产后抑郁研究最多，其次为药物成瘾和创伤后应激障碍(Kowalenko et al., 2013)。而今随着认知神经科学的发展，一些研究已经对这一过程的神经基础进行了初步探索。

chinaXiv:202303.09325v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.09325v1

2.3.1 产后抑郁

产后抑郁(postpartum depression, PPD)是主要的公共健康问题之一，能够影响 15%到 20%的妊娠(Woody, Ferrari, Siskind, Whiteford, & Harris, 2017)，它是产后时期出现的抑郁症状，诊断标准与重度抑郁症的诊断相似，症状包括情绪不稳定、易怒、人际关系敏感、失眠、焦虑、时而哭泣以及时而兴奋(O'Hara & Wisner, 2014; 靳宇倡, 丁美月, 2017)。

首先，产后抑郁的母亲在涉及情绪调节和共情网络激活减弱，存在共情困难和情绪失调(Laurent & Ablow, 2012a; Lenzi et al., 2016; Moses-Kolko et al., 2010)。具体来讲, Moses-Kolko 等人(2010)发现产后抑郁的母亲观看负性面孔或者词汇后杏仁核的激活减少，这与非产后抑郁症发现的杏仁核激活增加相反(Groenewold, Opmeer, de Jonge, Aleman, & Costafreda, 2013)，表明产后抑郁降低了母亲的情绪敏感性。此外，Lenzi 等人(2016)发现与健康产后母亲相比，产后抑郁母亲在观察和模仿婴儿面孔的任务中，其内侧眶额皮层和楔前叶的激活减少而右侧杏仁核的激活水平则明显增加，这说明产后抑郁母亲在共情脑区激活不足，却在内在没有外部驱动的脑区激活增加，表明产后抑郁母亲存在共情困难和情绪失调(靳宇倡, 丁美月, 2017)。

其次，产后抑郁的母亲大脑静息状态区域连接性降低。Moses-Kolko 等人(2010)研究表明产后抑郁母亲在观看具有恐怖和威胁信息的面孔后，没有发现腹内侧前额皮层−杏仁核的功能连接性，而健康的母亲却有完整的功能连接性。随后 Chase 等人(2014)也在产后抑郁的母亲中发现了后扣带回−杏仁核的功能连接异常，并表现出情绪调节功能的异常。Ho 和 Swain (2017)发现抑郁会影响母亲响应婴儿哭声这一明显的应激信号。患有抑郁症的母亲在杏仁核−伏隔核之间的功能连接减弱，却在杏仁核−背内侧前额叶皮层之间的功能连接增强。表明抑郁母亲对婴儿哭声的不敏感以及会把负面情绪与孩子之间的过度关联，将自己的痛苦投射到孩子身上。然而迄今为止，只有一项研究发现父亲抑郁症状与纹状体、杏仁核和亚属皮质灰质体积呈负相关，且与后扣带皮层和梭状回灰质体积呈正相关(Kim et al., 2014)。而产后父亲的精神状态同样重要，然而却很少研究进行探讨，和谐的父母关系能更好地孕育下一代，因而未来可以加强这方面研究的探讨。

最后，产后抑郁与催产素水平也存在相关。研究发现，催产素水平与产后抑郁呈负相关，即焦虑与抑郁的分数越高，催产素水平越低(Stuebe, Grewen, & Meltzer-Brody, 2013; Stuebe, Grewen, Pedersen, Propper, & Meltzer-Brody, 2012)。虽然，产后抑郁诊断中包含有焦虑症状，但是抑郁症与焦虑症却还是有所不同，研究发现母亲焦虑程度越高，就越会进行积极的养育，并且杏仁核−右后颞上沟功能连接性越强(Guo, Moses-Kolko, Phillips, Swain, & Hipwell, 2018; Schechter et al., 2012)，今后研究可以比较产后抑郁与产后焦虑对“养育脑”影响的异同，进一步理清其中的关系。

2.3.2 药物成瘾

孕妇及产妇的药物成瘾同样也是重要的公共卫生问题。母亲的成瘾问题与一系列的育儿困难相关，常常会导致其忽视甚至虐待儿童(Strathearn & Mayes, 2010)。当前研究主要集中在可卡因成瘾母亲改变其养育行为的脑机制。可卡因可以通过子宫直接影响胎儿的发育，也可以通过改变母亲的养育行为间接影响婴儿的发育(Strathearn & Mayes, 2010)。与正常的母婴互动不同，可卡因成瘾的母亲不能够恰当地回应婴儿线索，并且响应婴儿时会更大的压力，仅产生较弱的奖赏回路激活(Rutherford, Williams, Sheryl, Mayes, & Johns, 2011)。并且药物成瘾的母亲响应婴儿面孔时，前额叶区域(包括背外侧和内侧前额叶皮质)、视觉加工(枕叶)和边缘区域(海马旁和杏仁核)表现出激活减弱；同时在响应婴儿哭声时，在听觉加工、脑岛和边缘区域(海马旁和杏仁核)也表现出激活减弱(Landi et al., 2011)。这表明，药物成瘾的母亲对婴儿面孔及哭声识别明显下降，这可能会损害对婴儿的依恋以及进一步的照料。

总之，药物成瘾导致育儿困难，从而导致婴儿遭受长期的忽视或虐待。并且越来越多的证据支持了药物成瘾的代际影响，滥用毒品的母亲在自己的童年期间经历了严重不足的照顾，可能会进一步影响其对自己子女的养育动机或行为(Strathearn & Mayes, 2010)。

2.3.3 创伤后应激障碍

创伤后应激障碍(post traumatic stress disorder,

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.09325v1

PTSD)是由异常威胁性或灾难性心理创伤导致延迟出现和长期持续的精神障碍，具体表现为对灾难性事件的重现、回避、高警觉及认知与心境的持续负性改变(American Psychiatric Association, 2013)。创伤后应激障碍的母亲响应婴儿刺激时，其情绪调节网络神经反应增强。具体来说，与产后焦虑和抑郁的母亲相比，创伤后应激障碍的母亲在观看孩子分离和自由玩耍的视频时，报告了更高的恐惧主观评价，情绪调节和共情区域(双侧前嗅皮层、左侧尾状核、左侧脑岛、额叶前侧和额双侧顶叶)的活动明显增强(Schechter et al., 2012)。并且，母亲创伤后应激障碍症状与额上回活动呈负相关，而恐惧回路的过度激活可能会降低母亲的情绪调节性(Schechter et al., 2010)。总之，这些研究结果强调了创伤后应激障碍母亲在情绪调节区域激活增强，表明了创伤后应激障碍症状对母亲认知功能和情绪调节的影响。

综上所述，对异常人群的研究发现在响应婴儿刺激时其脑区激活异常。产后抑郁的母亲在情绪调节和共情网络激活减弱以及大脑默认网络连接性降低，药物成瘾母亲在奖赏回路激活降低，而创伤后应激障碍的母亲在情绪调节网络过度激活。对这些发现的进一步解释可能是，对婴儿线索的敏感反应位于 U 型曲线上，因此对婴儿线索的神经反应太强或太弱都是异常的。除此之外，焦虑(Guo et al., 2018; Schechter et al., 2012)、压力(Barrett et al., 2012)、童年不良经历(Kim et al., 2010)等不良状态对"养育脑"也有影响。

3　总结与展望

生命繁衍和种族延续是人类持续关注的重大问题，人类婴儿漫长的成长期使得成人对其的养育尤为重要。"养育脑"通过动机−奖赏、共情、情绪调节以及执行功能等网络的协调合作，共同响应婴儿刺激(Feldman, 2015; Swain, 2011)。本文重点从成人角度出发，探究成人养育经验、催产素水平、精神障碍等特征对"养育脑"的影响。横向研究发现，养育经验的差异会使得"养育脑"的激活不同，父母相对非父母有更多优势，而女性相对男性又更有优势；另外纵向研究发现成人随着养育经验的增长其灰质结构会发生变化，使之更好适应父母角色。此外，成人内源性催产素水平的提高以及外源性催产素干预促进了对婴儿刺激的加工，而内源性的催产素基因类型对婴儿刺激的影响还有争议。此外，对异常人群的研究发现精神障碍母亲响应婴儿刺激时，其脑区激活异常。产后抑郁和药物成瘾的母亲都减弱了情绪调节等脑区激活，而创伤后应激障碍母亲却在情绪调节网络过度激活。

通过检索国内外文献检索，现有研究主要集中于横向比较养育经验、催产素、精神障碍等因素对母亲"养育脑"加工的影响，而纵向研究、父亲的研究以及多脑间的同步研究较少。与其他研究相比，本文在阐述养育脑的神经基础上探讨了成人养育经验、催产素水平、精神障碍等特征对养育脑的影响，梳理了成人个体特征对"养育脑"的影响机制，为进一步阐述成人养育行为的神经基础提供理论指导并探讨异常母亲的神经机制为治疗提供帮助。未来的研究可在此基础上，针对以下几个方面进行深入探究。

第一，发展纵向研究并进一步理清"养育脑"结构变化的原因。虽然在现有研究中，有关"养育脑"的纵向及跨文化研究的行为数据比较丰富，但关于其纵向变化的神经影像学数据还比较缺乏(Hoekzema et al., 2017; Kim et al., 2010; Kim et al., 2014)。因此，未来研究可以更加全面地追踪"养育脑"在孕前、孕中、孕后的脑结构变化以及进一步分析导致其脑结构变化的原因。在今后的研究中，也可以采用元分析，定量的分析不同人群在响应不同婴儿线索时的异同。

第二，进一步探索异常父亲响应婴儿刺激的研究以及相应的诊断与干预。当前有关异常"养育脑"的研究主要集中在母亲被试中，而父亲同样重要。例如，产后抑郁通常来看是女性的专属疾病，然而研究发现婚姻关系中男性在伴侣产后也容易产生抑郁症状(Godderis, 2011)或双相情感障碍(Stevens, Geerling, & Kupka, 2014)。因而对男性的研究以及男女症状异同的对照组研究设计，可能对精神障碍的病因机制以及神经生物机制的研究起到推动作用。此外，关注精神障碍对"养育脑"影响的研究，从而可以在婴儿生命早期设计靶向干预。例如，音乐训练法可以保持产后抑郁症母亲对婴儿声音线索的敏感性(Parsons, Young, Jegindo, et al., 2014); "婴儿−社会奖励任务"可以使用可爱的声音和面部，改变对婴儿气质的看法等(Bhandari et al., 2014; Parsons, Young, Bhandari,

ChinaXiv合作期刊

et al., 2014)以及心理治疗(一种正念和痛苦容忍练习)可以改变养育行为中压力相关的大脑回路(Swain et al., 2017)。

第三，开展父亲−母亲、父母−婴儿等脑与脑的同步研究。近年来“养育脑”的脑成像研究已经得到了单个大脑功能和结构上的结果，未来可以探索父亲−母亲、父母−婴儿等脑与脑的同步研究。“养育脑”从单个大脑的功能转移到多个大脑的协调，以便了解脑与脑间同步如何形成社会联系以及群体之间的合作(Singer, 2012)。突破这种限制是使用超扫描技术(hyperscanning)，同时测量来自两个或更多个体的神经活动(Babiloni & Astolfi, 2014; Koike et al., 2016)。例如，Atzil 等人(2012)发现父母在响应婴儿视频时，在涉及心理理论和共情的右脑岛、顶下小叶、额下回等脑区产生了相同活动，这表明父母可以实时分享他们对婴儿状态的直观理解，以便实现更好的养育。此外，父母和孩子的大脑活动在背外侧前额叶皮层(DLPFC)和额极皮层(FPC)出现同步，其可以预测实验中的合作表现(Reindl, Gerloff, Scharke, & Konrad, 2018)。Leong 等人(2017)采用 EEG 同步测量的方法，记录了成人和婴儿进行眼神沟通时的脑电信号，发现成人的注视会增强婴儿和成人的脑间连接强度。

第四，拓展“养育脑”的本土化研究。虽然已有大量关于“养育脑”的研究，但是大多都是欧美国家的，而中国对于此方面的研究比较缺乏。而中国有不同于其他国家的文化，俗话说“百善孝为先”，中国人的家庭关系更加紧密，男性更加注重家庭。虽然 Bornstein 等人(2017)的研究显示来自中国、意大利、美国等 11 个不同国家的母亲有相似的行为反应以及在运动皮层区域等也有相似的激活反应，但是不同国家的父亲是否也有类似的反应呢，在中国背景下父母响应婴儿哭声时仍然有性别差异吗？还需要进一步验证。此外，中国特色的隔代养育和亲代养育是否存在差异，即主要监护人是父辈或者祖辈时，其在响应婴儿刺激时会存在差异吗？最后，以往研究发现在同性婚姻中担任主要照顾者的父亲和担任次要照顾者的父亲对婴儿刺激反应的不同(Abraham et al., 2014)，那么在中国二胎政策开放后，有经验的二胎父母和新父母对婴儿线索的反应是否也会有所不同？

参考文献

程刚，张大均，关雨生，陈艳红. (2015). 婴儿面孔表情标准化图片系统的初步建立. *中国心理卫生杂志, 29*(6), 406–412.

靳宇倡，丁美月. (2017). 产后抑郁的预测因素及神经生理机制. *心理科学进展, 25*(7), 1145–1161.

李想，郑涌，孟宪鑫，李鹏，李红. (2013). 成人对婴儿哭声的反应及其脑机制. *心理科学进展, 21*(10), 1770–1779.

罗笠铢，罗禹，鞠恩霞，马文娟，李红. (2011). 婴儿图式及其加工的性别差异. *心理科学进展, 19*(10), 1471–1479.

杨业，汤艺，彭微微，吕雪靖，胡理，陈军. (2017). 共情: 遗传−环境−内分泌−大脑机制. *科学通报, 62*(32), 3729–3742.

张一帆，齐星亮，蔡厚德. (2018). 啮齿动物主动母性行为动态改变的神经机制. *心理科学进展, 26*(8), 1417–1428.

Abraham, E., Hendler, T., Shapira-Lichter, I., Kanat-Maymon, Y., Zagoory-Sharon, O., & Feldman, R. (2014). Father's brain is sensitive to childcare experiences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 111*(27), 9792–9797.

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.)*. Arlington, VA: American Psychiatric Association.

Aragon, O. R., Clark, M. S., Dyer, R. L., & Bargh, J. A. (2015). Dimorphous expressions of positive emotion: Displays of both care and aggression in response to cute stimuli. *Psychological Science, 26*(3), 259–273.

Atzil, S., Hendler, T., & Feldman, R. (2011). Specifying the neurobiological basis of human attachment: Brain, hormones, and behavior in synchronous and intrusive mothers. *Neuropsychopharmacology, 36*(13), 2603–2615.

Atzil, S., Hendler, T., Zagoory-Sharon, O., Winetraub, Y., & Feldman, R. (2012). Synchrony and specificity in the maternal and the paternal brain: Relations to oxytocin and vasopressin. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 51*(8), 798–811.

Babiloni, F., & Astolfi, L. (2014). Social neuroscience and hyperscanning techniques: Past, present and future. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 44*, 76–93.

Bakermans-Kranenburg, M. J., & van Ijzendoorn, M. H. (2008). Oxytocin receptor (OXTR) and serotonin transporter (5-HTT) genes associated with observed parenting. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 3*(2), 128–134.

Barrett, J., Wonch, K. E., Gonzalez, A., Ali, N., Steiner, M., Hall, G. B., & Fleming, A. S. (2012). Maternal affect and quality of parenting experiences are related to amygdala response to infant faces. *Social Neuroscience, 7*(3), 252–

chinaXiv:202303.09325v1

ChinaXiv合作期刊

268.

Berridge, K. C., & Kringelbach, M. L. (2015). Pleasure systems in the brain. *Neuron, 86*(3), 646–664.

Bethlehem, R. A. I., van Honk, J., Auyeung, B., & Baron-Cohen, S. (2013). Oxytocin, brain physiology, and functional connectivity: A review of intranasal oxytocin fMRI studies. *Psychoneuroendocrinology, 38*(7), 962–974.

Bhandari, R., van der Veen, R., Parsons, C. E., Young, K. S., Voorthuis, A., Bakermans-Kranenburg, M. J., ... van Ijzendoorn, M. H. (2014). Effects of intranasal oxytocin administration on memory for infant cues: Moderation by childhood emotional maltreatment. *Social Neuroscience, 9*(5), 536–547.

Bornstein, M. H., Arterberry, M. E., & Mash, C. (2013). Differentiated brain activity in response to faces of "own" versus "unfamiliar" babies in primipara mothers: An electrophysiological study. *Developmental Neuropsychology, 38*(6), 365–385.

Bornstein, M. H., Putnick, D. L., Rigo, P., Esposito, G., Swain, J. E., Suwalsky, J. T. D., ... Venuti, P. (2017). Neurobiology of culturally common maternal responses to infant cry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 114*(45), E9465–E9473.

Caria, A., de Falco, S., Venuti, P., Lee, S., Esposito, G., Rigo, P., ... Bornstein, M. H. (2012). Species-specific response to human infant faces in the premotor cortex. *Neuroimage, 60*(2), 884–893.

Chase, H. W., Moses-Kolko, E. L., Zevallos, C., Wisner, K. L., & Phillips, M. L. (2014). Disrupted posterior cingulate-amygdala connectivity in postpartum depressed women as measured with resting BOLD fMRI. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 9*(8), 1069–1075.

Clarke, G. M., & Cardon, L. R. (2010). Aspects of observing and claiming allele flips in association studies. *Genetic Epidemiology, 34*(3), 266–274.

Deligiannidis, K. M., Sikoglu, E. M., Shaffer, S. A., Frederick, B. D., Svenson, A. E., Kopoyan, A., ... Moore, C. M. (2013). GABAergic neuroactive steroids and resting-state functional connectivity in postpartum depression: A preliminary study. *Journal of Psychiatric Research, 47*(6), 816–828.

Feldman, R. (2015). The adaptive human parental brain: Implications for children's social development. *Trends in Neurosciences, 38*(6), 387–399.

Francis, D. D., Champagne, F. C., & Meaney, M. J. (2000). Variations in maternal behaviour are associated with differences in oxytocin receptor levels in the rat. *Journal of Neuroendocrinology, 12*(12), 1145–1148.

Godderis, R. (2011). Iterative generation of diagnostic categories through production and practice: The case of postpartum depression. *Culture Medicine and Psychiatry, 35*(4), 484–500.

Groenewold, N. A., Opmeer, E. M., de Jonge, P., Aleman, A., & Costafreda, S. G. (2013). Emotional valence modulates brain functional abnormalities in depression: Evidence from a meta-analysis of fMRI studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 37*(2), 152–163.

Guo, C. H., Moses-Kolko, E., Phillips, M., Swain, J. E., & Hipwell, A. E. (2018). Severity of anxiety moderates the association between neural circuits and maternal behaviors in the postpartum period. *Cognitive Affective & Behavioral Neuroscience, 18*(3), 426–436.

Gur, R. C., Gunning-Dixon, F., Bilker, W. B., & Gur, R. E. (2002). Sex differences in temporo-limbic and frontal brain volumes of healthy adults. *Cerebral Cortex, 12*(9), 998–1003.

Ho, S. S., Konrath, S., Brown, S., & Swain, J. E. (2014). Empathy and stress related neural responses in maternal decision making. *Frontiers in Neuroscience, 8*, 152.

Ho, S. S., & Swain, J. E. (2017). Depression alters maternal extended amygdala response and functional connectivity during distress signals in attachment relationship. *Behavioural Brain Research, 325*, 290–296.

Hoekzema, E., Barba-Muller, E., Pozzobon, C., Picado, M., Lucco, F., Garcia-Garcia, D., ... Vilarroya, O. (2017). Pregnancy leads to long-lasting changes in human brain structure. *Nature Neuroscience, 20*(2), 287–296.

Inoue, H., Yamasue, H., Tochigi, M., Abe, O., Liu, X. X., Kawamura, Y., ... Kasai, K. (2010). Association between the oxytocin receptor gene and amygdalar volume in healthy adults. *Biological Psychiatry, 68*(11), 1066–1072.

Kanat, M., Heinrichs, M., & Domes, G. (2014). Oxytocin and the social brain: Neural mechanisms and perspectives in human research. *Brain Research, 1580*, 160–171.

Kim, P., Feldman, R., Mayes, L. C., Eicher, V., Thompson, N., Leckman, J. F., & Swain, J. E. (2011). Breastfeeding, brain activation to own infant cry, and maternal sensitivity. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 52*(8), 907–915.

Kim, P., Leckman, J. F., Mayes, L. C., Feldman, R., Wang, X., & Swain, J. E. (2010). The plasticity of human maternal brain: Longitudinal changes in brain anatomy during the early postpartum period. *Behavioral Neuroscience, 124*(5), 695–700.

Kim, P., Rigo, P., Mayes, L. C., Feldman, R., Leckman, J. F., & Swain, J. E. (2014). Neural plasticity in fathers of human infants. *Social Neuroscience, 9*(5), 522–535.

Koike, T., Tanabe, H. C., Okazaki, S., Nakagawa, E., Sasaki, A. T., Shimada, K., ... Sadatoa, N. (2016). Neural substrates of shared attention as social memory: A hyperscanning functional magnetic resonance imaging

chinaXiv:202303.09325v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.09325v1

study. *Neuroimage, 125*, 401–412.

Kowalenko, N. M., Mares, S. P., Newman, L. K., Williams, A. E. S., Powrie, R. M., & van Doesum, K. T. M. (2013). Family matters: Infants, toddlers and preschoolers of parents affected by mental illness. *Medical Journal of Australia, 199*(3), 14–17.

Kringelbach, M. L., Stark, E. A., Alexander, C., Bornstein, M. H., & Stein, A. (2016). On cuteness: Unlocking the parental brain and beyond. *Trends in Cognitive Sciences, 20*(7), 545–558.

Kuo, P. X., Carp, J., Light, K. C., & Grewen, K. M. (2012). Neural responses to infants linked with behavioral interactions and testosterone in fathers. *Biological Psychology, 91*(2), 302–306.

Landi, N., Montoya, J., Kober, H., Rutherford, H. J., Mencl, W. E., Worhunsky, P. D., ... Mayes, L. C. (2011). Maternal neural responses to infant cries and faces: Relationships with substance use. *Frontiers in Psychiatry, 2*, 32.

Laurent, H. K., & Ablow, J. C. (2012a). A cry in the dark: Depressed mothers show reduced neural activation to their own infant's cry. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 7*(2), 125–134.

Laurent, H. K., & Ablow, J. C. (2012b). The missing link: Mothers' neural response to infant cry related to infant attachment behaviors. *Infant Behavior & Development, 35*(4), 761–772.

Lenzi, D., Trentini, C., Macaluso, E., Graziano, S., Speranza, A. M., Pantano, P., & Ammaniti, M. (2016). Mothers with depressive symptoms display differential brain activations when empathizing with infant faces. *Psychiatry Research: Neuroimaging, 249*, 1–11.

Lenzi, D., Trentini, C., Pantano, P., Macaluso, E., Lenzi, G. L., & Ammaniti, M. (2013). Attachment models affect brain responses in areas related to emotions and empathy in nulliparous women. *Human Brain Mapping, 34*(6), 1399–1414.

Leong, V., Byrne, E., Clackson, K., Georgieva, S., Lam, S., & Wass, S. (2017). Speaker gaze increases information coupling between infant and adult brains. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 114*(50), 13290–13295.

Leuner, B., Glasper, E. R., & Gould, E. (2010). Parenting and plasticity. *Trends in Neurosciences, 33*(10), 465–473.

Li, T., Chen, X., Mascaro, J., Haroon, E., & Rilling, J. K. (2017). Intranasal oxytocin, but not vasopressin, augments neural responses to toddlers in human fathers. *Hormones and Behavior, 93*, 193–202.

Lovic, V., & Fleming, A. S. (2015). Propagation of maternal behavior across generations is associated with changes in non-maternal cognitive and behavioral processes. *Behavioural Processes, 117*, 42–47.

MacDonald, K., & MacDonald, T. M. (2010). The peptide that binds: A systematic review of oxytocin and its prosocial effects in humans. *Harvard Review of Psychiatry, 18*(1), 1–21.

Mascaro, J. S., Hackett, P. D., Gouzoules, H., Lori, A., & Rilling, J. K. (2014). Behavioral and genetic correlates of the neural response to infant crying among human fathers. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 9*(11), 1704–1712.

Mascaro, J. S., Hackett, P. D., & Rilling, J. K. (2013). Testicular volume is inversely correlated with nurturing-related brain activity in human fathers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110*(39), 15746–15751.

Mascaro, J. S., Hackett, P. D., & Rilling, J. K. (2014). Differential neural responses to child and sexual stimuli in human fathers and non-fathers and their hormonal correlates. *Psychoneuroendocrinology, 46*, 153–163.

Mezzacappa, E. S., & Katkin, E. S. (2002). Breast-feeding is associated with reduced perceived stress and negative mood in mothers. *Health Psychology, 21*(2), 187–193.

Michalska, K. J., Decety, J., Liu, C. Y., Qi, C., Martz, M. E., Jacob, S., ... Lahey, B. B. (2014). Genetic imaging of the association of oxytocin receptor gene (OXTR) polymorphisms with positive maternal parenting. *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 8*(3), 21.

Mitchell, D. G. V., Rhodes, R. A., Pine, D. S., & Blair, R. J. R. (2008). The contribution of ventrolateral and dorsolateral prefrontal cortex to response reversal. *Behavioural Brain Research, 187*(1), 80–87.

Moses-Kolko, E. L., Perlman, S. B., Wisner, K. L., James, J., Saul, A. T., & Phillips, M. L. (2010). Abnormally reduced dorsomedial prefrontal cortical activity and effective connectivity with amygdala in response to negative emotional faces in postpartum depression. *American Journal of Psychiatry, 167*(11), 1373–1380.

Musser, E. D., Kaiser-Laurent, H., & Ablow, J. C. (2012). The neural correlates of maternal sensitivity: An fMRI study. *Developmental Cognitive Neuroscience, 2*(4), 428–436.

Navratilova, E., & Porreca, F. (2014). Reward and motivation in pain and pain relief. *Nature Neuroscience, 17*(10), 1304–1312.

Noriuchi, M., Kikuchi, Y., & Senoo, A. (2008). The functional neuroanatomy of maternal love: Mother's response to infant's attachment behaviors. *Biological Psychiatry, 63*(4), 415–423.

Ochsner, K., Silvers, J., & Buhle, J. (2012). Functional imaging studies of emotion regulation: A synthetic review and evolving model of the cognitive control of emotion. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1251*(1),

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202303.09325v1

1–24.

O'Hara, M. W., & Wisner, K. L. (2014). Perinatal mental illness: Definition, description and aetiology. *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology, 28*(1), 3–12.

Parsons, C. E., Stark, E. A., Young, K. S., Stein, A., & Kringelbach, M. L. (2013). Understanding the human parental brain: A critical role of the orbitofrontal cortex. *Social Neuroscience, 8*(6), 525–543.

Parsons, C. E., Young, K. S., Bhandari, R., van Ijzendoorn, M. H., Bakermans-Kranenburg, M. J., Stein, A., & Kringelbach, M. L. (2014). The bonnie baby: Experimentally manipulated temperament affects perceived cuteness and motivation to view infant faces. *Developmental Science, 17*(2), 257–269.

Parsons, C. E., Young, K. S., Jegindo, E. M. E., Vuust, P., Stein, A., & Kringelbach, M. L. (2014). Music training and empathy positively impact adults' sensitivity to infant distress. *Frontiers in Psychology, 5*, 1440.

Parsons, C. E., Young, K. S., Murray, L., Stein, A., & Kringelbach, M. L. (2010). The functional neuroanatomy of the evolving parent-infant relationship. *Progress in Neurobiology, 91*(3), 220–241.

Pisapia, N. D., Bornstein, M. H., Rigo, P., Esposito, G., Falco, S. D., & Venuti, P. (2013). Gender differences in directional brain responses to infant hunger cries. *Neuroreport, 24*(3), 142–146.

Platek, S. M., Raines, D. M., Gallup, G. G., Mohamed, F. B., Thomson, J. W., Myers, T. E., ... Arigo, D. R. (2004). Reactions to children's faces: Males are more affected by resemblance than females are, and so are their brains. *Evolution and Human Behavior, 25*(6), 394–405.

Reindl, V., Gerloff, C., Scharke, W., & Konrad, K. (2018). Brain-to-brain synchrony in parent-child dyads and the relationship with emotion regulation revealed by fNIRS-based hyperscanning. *Neuroimage, 178*, 493–502.

Riem, M. M. E., Bakermans-Kranenburg, M. J., Pieper, S., Tops, M., Boksem, M. A. S., Vermeiren, R., ... Rombouts, S. (2011). Oxytocin modulates amygdala, insula, and inferior frontal gyrus responses to infant crying: A randomized controlled trial. *Biological Psychiatry, 70*(3), 291–297.

Riem, M. M. E., van Ijzendoorn, M. H., Tops, M., Boksem, M. A. S., Rombouts, S., & Bakermans-Kranenburg, M. J. (2012). No laughing matter: Intranasal oxytocin administration changes functional brain connectivity during exposure to infant laughter. *Neuropsychopharmacology, 37*(5), 1257–1266.

Rilling, J. K., & Young, L. J. (2014). The biology of mammalian parenting and its effect on offspring social development. *Science, 345*(6198), 771–776.

Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience, 27*, 169–192.

Rutherford, H. J. V., Williams, S. K., Sheryl, M., Mayes, L. C., & Johns, J. M. (2011). Disruption of maternal parenting circuitry by addictive process: Rewiring of reward and stress systems. *Frontiers in Psychiatry, 2*, 37.

Sander, K., Frome, Y., & Scheich, H. (2007). FMRI Activations of amygdala, cingulate cortex, and auditory cortex by infant laughing and crying. *Human Brain Mapping, 28*(10), 1007–1022.

Schechter, D. S., Moser, D. A., Wang, Z. S., Marsh, R., Hao, X. J., Duan, Y. S., ... Peterson, B. S. (2012). An fMRI study of the brain responses of traumatized mothers to viewing their toddlers during separation and play. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 7*(8), 969–979.

Schechter, D. S., Willheim, E., Hinojosa, C., Scholfield-Kleinman, K., Turner, J. B., McCaw, J., ... Myers, M. M. (2010). Subjective and objective measures of parent-child relationship dysfunction, child separation distress, and joint attention. *Psychiatry-Interpersonal and Biological Processes, 73*(2), 130–144.

Seifritz, E., Esposito, F., Neuhoff, J. G., Luthi, A., Mustovic, H., Dammann, G., ... Di Salle, F. (2003). Differential sex-independent amygdala response to infant crying and laughing in parents versus nonparents. *Biological Psychiatry, 54*(12), 1367–1375.

Singer, T. (2012). The past, present and future of social neuroscience: A European perspective. *Neuroimage, 61*(2), 437–449.

Stein, A., Pearson, R. M., Goodman, S. H., Rapa, E., Rahman, A., McCallum, M., ... Pariante, C. M. (2014). Effects of perinatal mental disorders on the fetus and child. *Lancet, 384*(9956), 1800–1819.

Stevens, A., Geerling, B., & Kupka, R. W. (2014). Postpartum mania in a man with bipolar disorder: Case report and a review of the role of sleep loss. *Bipolar Disorders, 16*(1), 93–96.

Strathearn, L., Fonagy, P., Amico, J., & Montague, P. R. (2009). Adult attachment predicts maternal brain and oxytocin response to infant cues. *Neuropsychopharmacology, 34*(13), 2655–2666.

Strathearn, L., Li, J., Fonagy, P., & Montague, P. R. (2008). What's in a smile? Maternal brain responses to infant facial cues. *Pediatrics, 122*(1), 40–51.

Strathearn, L., & Mayes, L. C. (2010). Cocaine addiction in mothers: Potential effects on maternal care and infant development. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1187*(1), 172–183.

Stuebe, A. M., Grewen, K., & Meltzer-Brody, S. (2013). Association between maternal mood and oxytocin response to breastfeeding. *Journal of Womens Health,*

ChinaXiv合作期刊

22(4), 352–361.

Stuebe, A. M., Grewen, K., Pedersen, C. A., Propper, C., & Meltzer-Brody, S. (2012). Failed lactation and perinatal depression: Common problems with shared neuroendocrine mechanisms? *Journal of Womens Health, 21*(3), 264–272.

Swain, J. E. (2011). The human parental brain: In vivo neuroimaging. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry, 35*(5), 1242–1254.

Swain, J. E., Ho, S. S., Rosenblum, K. L., Morelen, D., Dayton, C. J., & Muzik, M. (2017). Parent-child intervention decreases stress and increases maternal brain activity and connectivity during own baby-cry: An exploratory study. *Development and Psychopathology, 29*(2), 535–553.

Swain, J. E., Kim, P., Spicer, J., Ho, S. S., Dayton, C. J., Elmadih, A., & Abel, K. M. (2014). Approaching the biology of human parental attachment: Brain imaging, oxytocin and coordinated assessments of mothers and fathers. *Brain Research, 1580*, 78–101.

Swain, J. E., Lorberbaum, J. P., Kose, S., & Strathearn, L. (2007). Brain basis of early parent-infant interactions: Psychology, physiology, and in vivo functional neuroimaging studies. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 48*(3-4), 262–287.

Swain, J. E., Tasgin, E., Mayes, L. C., Feldman, R., Constable, R. T., & Leckman, J. F. (2008). Maternal brain response to own baby-cry is affected by cesarean section delivery. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 49*(10), 1042–1052.

Vink, M., Kahn, R. S., Raemaekers, M., van den Heuvel, M., Boersma, M., & Ramsey, N. F. (2005). Function of striatum beyond inhibition and execution of motor responses. *Human Brain Mapping, 25*(3), 336–344.

Voorthuis, A., Riem, M. M. E., Van Ijzendoorn, M. H., & Bakermans-Kranenburg, M. J. (2014). Reading the mind in the infant eyes: Paradoxical effects of oxytocin on neural activity and emotion recognition in watching pictures of infant faces. *Brain Research, 1580*, 151–159.

Woody, C. A., Ferrari, A. J., Siskind, D. J., Whiteford, H. A., & Harris, M. G. (2017). A systematic review and meta-regression of the prevalence and incidence of perinatal depression. *Journal of Affective Disorders, 219*, 86–92.

Yang, D. Y. J., Rosenblau, G., Keifer, C., & Pelphrey, K. A. (2015). An integrative neural model of social perception, action observation, and theory of mind. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 51*, 263–275.

“Parental brain” network and its influential factors

ZHANG Huoyin; ZHANG Mingming; DING Rui; LI Shuaixia; LUO Wenbo

(*Research Center of Brain and Cognitive Neuroscience, Liaoning Normal University, Dalian* 116029, *China*)

Abstract: The human parental brain could be defined as is the network of regions that support caregiving behaviors to identify and react to infant related stimuli (infant vocals and facial expressions). First, we reviewed the neural circuits that were demonstrated to be involved in establishing and maintaining parent-infant relationships, which included circuits for motivation-reward, empathy, emotion regulation and executive function. And the important brain areas incorporate the orbitofrontal cortex, anterior cingulate cortex, anterior insula, amygdala, and supplementary motor area. Second, the current review summed that human parental brain is sensitive to multiple parenting determinants, including parenting abilities, parental hormones and psychopathology. The growth of parenting abilities and the improvement of oxytocin levels are beneficial to the processing for infant stimuli. Finally, several advices were proposed for future directions: 1) prospective and longitudinal studies across important transition periods for parenting; 2) describing the neural basis of male psychopathologies and exploring targeted interventions and treatments; 3) employing some advanced neuroscience technique (e.g., hyper scanning) to highlight the simultaneous neural activity between mother and father or parents and infants; and 4) conducting parental brain research in Chinese culture.

Key words: parental brain; parenting experience; oxytocin; psychopathology

chinaXiv:202303.09325v1